DIE NATURWISSENSCHAFTEN

22. Jahrgang | 11. Mai 1934 | Heft 19

Das Positron[1].

Von CARL D. ANDERSON, Pasadena.

(Aus dem California Institute of Technology.)

Über die Existenz freier positiver Elektronen, sog. Positronen, hat der Verf. (1) zum erstenmal im September 1932 berichtet, und zwar als Ergebnis von Versuchen über kosmische Strahlung am California Institute of Technology. In dieser ersten Veröffentlichung wurden alle in Frage kommenden Deutungsversuche des experimentellen Befundes im einzelnen diskutiert und dabei nachgewiesen, daß eine sinnvolle Deutung nur bei Annahme der Existenz freier positiver Elektronen möglich war.

Als ein Teil von Prof. MILLIKANS Programm zur Untersuchung der kosmischen Strahlung wurden nämlich Messungen der Energie von Höhenstrahlteilchen mit einer vertikalen Nebelkammer in einem kräftigen horizontalen Magnetfeld ausgeführt. Im August 1931 wurden mit dieser Anordnung und einer Feldstärke von 20000 Gauss in einem Volumen von $17 \times 17 \times 3$ cm die ersten Aufnahmen gemacht. Hierbei zeigte sich — wie in Vorträgen in Paris und Cambridge (England) im November 1931 und in einer Veröffentlichung von MILLIKAN und dem Verf. (2) im März 1932 mitgeteilt wurde — zum erstenmal die Tatsache, daß bei der Absorption kosmischer Strahlen Kernvorgänge von wesentlicher Bedeutung sind, wie sich aus dem häufigen Auftreten offensichtlich zusammengehöriger Spuren und Schwärme von Teilchen positiver und negativer Ladung ergab.

Im Mai 1932 gelang es dann, durch Einsetzen einer die Nebelkammer in zwei Hälften teilenden Bleiplatte, in einigen Fällen zwingend nachzuweisen, daß die Masse der beobachteten Teilchen positiver Ladung auf keinen Fall so groß wie die des Protons sein konnte. Die Bewegungs*richtung* der Teilchen ergab sich erstens aus der Beobachtungsrichtung des Energieverlustes beim Durchgang durch die Bleiplatte (Spur weniger gekrümmt an der Eintrittsseite als an der Austrittsseite), und zweitens durch die in einigen Fällen gelungene Beobachtung von zwei und mehr Spuren, die ihren Ursprung alle in einem kleinen Bereich des die Kammer umgebenden Materials hatten. Aus der beobachteten Krümmung der Spur und der spezifischen Ionisation ließ sich dabei nachweisen, daß die Masse klein sein mußte, verglichen mit der des Protons. Einen noch zwingenderen Beweis ergab die Messung der Reichweiten der Teilchen, die ein Mehrfaches, in einigen Fällen mehr als das Zehnfache der äußersten Reichweiten von Protonenspuren gleicher Krümmung, betrugen. Diese Untersuchungen bildeten die Grundlage für die im September 1932 erfolgte Veröffentlichung über die Existenz des freien positiven Elektrons oder Positrons. Innerhalb der folgenden 5 Monate wurde dann eine große Anzahl weiterer Aufnahmen gemacht, die eindeutig die Existenz der Positronen bestätigten, und 15 dieser Aufnahmen wurden in einer zweiten Veröffentlichung (3) im März 1933 behandelt. Die auf diesen Aufnahmen aus den Positronenspuren ermittelte spezifische Ionisation zeigte, daß der Wert der Ladung des Positrons um nicht mehr als den Faktor 2 von der des freien negativen Elektrons verschieden sein konnte. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß, wollte man nicht Bruchteile der Einheitsladung als möglich annehmen, der absolute Betrag der Ladung für das freie positive und negative Elektron exakt der gleiche sein mußte. Diese Tatsache, zusammen mit der gemessenen Krümmung eines Positrons im Magnetfeld vor und nach der Durchdringung einer Bleiplatte, ergab als Maximalbetrag für dessen Masse die 20fache Masse des freien negativen Elektrons. Aus einer in der Zwischenzeit gelungenen Beobachtung eines Zusammenstoßes zwischen einem bewegten Positron und einem freien negativen Elektron in der Nebelkammer folgt auf Grund der Erhaltungssätze für Energie und Impuls Gleichheit der Masse des positiven und negativen Elektrons bis auf einen Fehler von nicht mehr als 30%. Neuere Messungen (15) der spezifischen Ionisation positiver und negativer Elektronen großer wie auch kleiner Geschwindigkeit durch direkte Zählung der Ionen auf den Spuren im Magnetfeld zeigten Gleichheit der spezifischen Ionisation der positiven und negativen Elektronen innerhalb 20%. Hierdurch ist der mögliche Unterschied zwischen positivem und negativem Elektron bezüglich der Masse auf maximal 20%, bezüglich der Ladung auf maximal 10% festgelegt. Weitere Einzelheiten der Geschichte dieser Entdeckung wurden im Juni 1933 auf der Tagung der „American Association for the Advancement of Science" in Chicago mitgeteilt (4). Ebenfalls im März 1933 erschien eine Veröffentlichung von BLACKETT und OCCHIALINI (5) mit der Bestätigung der Existenz von Positronen auf Grund ähnlicher Versuche mit einer vertikalen Nebelkammer in einem Magnetfeld von 3000 Gauss unter Verwendung von Geiger-Müller-Zählern zur Auslösung der Expansion. Daß auch die Beschießung von Beryllium mit α-Teilchen eine Strahlung ergibt, die ihrerseits Positronen zu erzeugen vermag, wurde im April 1933 von CHADWICK, BLACKETT und OCCHIALINI (6), CURIE und JOLIOT (7) sowie MEITNER und PHILIPP (8) mitgeteilt. Die Natur der die Positronen erzeugenden Strahlung konnte bei diesen Versuchen allerdings nicht mit Sicherheit festgestellt

[1] Vortrag, gehalten auf der Tagung der American Physical Society in Boston, Mass., am 27. Dezember 1933. Die Übersetzung ist von WOLFGANG FINKELNBURG.

werden. Dagegen zeigten CURIE und JOLIOT durch Absorptionsversuche, daß die Ausbeute an Positronen annähernd in der Weise abnahm, wie man es erwarten sollte für den Fall, daß die γ-Strahlen und nicht die Neutronen für ihre Erzeugung maßgebend sind.

Die ersten Versuche, die direkt bewiesen, daß beim Stoß eines γ-Strahlphotons mit einem Kern Positronen ausgelöst werden können, wurden im Norman Bridge Laboratory in Pasadena unter Verwendung von γ-Strahlen des Th C'' ausgeführt und die Ergebnisse im April 1933 veröffentlicht (9). In dieser Arbeit wurde erstmalig die theoretisch interessante Tatsache mitgeteilt, daß freie Elektronen positiver und negativer Ladung gleichzeitig beim Stoß eines einzelnen γ-Strahlphotons erzeugt werden können. Vorläufige Energiemessungen hierzu wurden im Juni 1933 von NEDDERMEYER und dem Verf. (10) veröffentlicht. Im Mai 1933 teilten auch CURIE und JOLIOT (11), im Juni 1933 MEITNER und PHILIPP (12) die Entdeckung von Positronen gleichen Ursprungs mit, beide unter Verwendung von γ-Strahlen des Th C''. CURIE und JOLIOT (13) haben ferner gezeigt, daß Positronen direkt bei Zertrümmerung von Aluminium und Bor durch α-Strahlbeschießung entstehen können. Hierbei können die Positronen im Fall des Aluminiums nicht durch eine Umwandlung des γ-Strahlphotons erzeugt werden, falls die Wahrscheinlichkeit einer solchen Umwandlung nicht ganz wesentlich größer ist, als man theoretisch erwarten sollte (14). Vielmehr scheinen diese Versuche zu zeigen, daß tatsächlich eine positive Elementarladung aus dem Kern ausgelöst wird und als Positron in Erscheinung tritt.

Wir haben hier einen kurzen geschichtlichen Überblick über die ersten experimentellen Arbeiten mit Positronen und über deren Erzeugung gegeben. Eine ins einzelne gehende Untersuchung über die Verteilung der Energie und der Häufigkeit der Erzeugung von Elektronenpaaren, bestehend aus je einem positiven und einem negativen Elektron, durch gefilterte Th C''-γ-Strahlen ist von besonderem Wert, weil die zugrunde liegenden Vorgänge so viel einfacher sind, als die Vorgänge in dem den kosmischen Strahlen entsprechenden Energiebereich.

Im folgenden wollen wir nun eine Diskussion der experimentellen Tatsachen geben, die sich auf die von BLACKETT und OCCHIALINI auf Grund der DIRACschen Theorie vorgeschlagene Hypothese beziehen, nach der bei Absorption eines auf den Kern auftreffenden Photons ein positiv-negatives Elektronenpaar erzeugt werden soll. Dabei soll der Kern nach dieser Vorstellung nicht selbst zerfallen, sondern lediglich die Rolle eines Katalysators spielen. Wir werden dabei erstens neuere statistische Untersuchungen von NEDDERMEYER und dem Verf. über die Wirkung der Th C''-γ-Strahlen besprechen und zweitens neue Untersuchungen von MILLIKAN, NEDDERMEYER, PICKERING und dem Verf. über Höhenstrahlschwärme.

Die Wirkung von γ-Strahlen.

Die Arbeiten von CURIE und JOLIOT und die von CHADWICK, BLACKETT und OCCHIALINI über die Strahlung von Thorium und die durch α-Strahlbeschießung in Beryllium erregte Strahlung haben zusammen mit unseren eigenen Untersuchungen über die kosmische Strahlung (15) gezeigt, daß der Absorptionsvorgang, bei dem Positronen erzeugt werden, um so stärkere Bedeutung gewinnt, je größer die Strahlungsenergie und je schwerer das absorbierende Material ist. Wir haben ferner eine statistische Untersuchung ausgeführt, um die Häufigkeit des Auftretens von Paaren sowie einzelnen Positronen und ihre Energieverteilung bei Absorption verschiedener Materialien in Abhängigkeit von der Ordnungszahl zu bestimmen. Dieser Untersuchung lagen mehr als 2500 Spuren einzelner positiver und negativer Elektronen sowie von Elektronenpaaren zugrunde. Diese Elektronen waren aus Kupfer-, Aluminium- und Kohleplatten durch γ-Strahlen des RaTh ausgelöst worden, die durch 2,5 cm Blei gefiltert waren (in einzelnen Fällen wurden zum Vergleich auch ungefilterte Strahlen verwendet). Die zur Beobachtung benutzten Bleiplatten hatten eine Dicke von 0,25 mm, die Aluminiumplatten eine solche von 0,5 mm und die auch zu den Höhenstrahluntersuchungen benutzte Graphitplatte eine solche von 1,4 cm. Das Magnetfeld betrug 825 Gauss.

Wir betrachten zunächst die Energien. Sowohl die einzelnen Positronen wie die Paare (bei diesen wurde die Summe der Energien von positivem und negativem Elektron genommen), die aus den Bleiplatten stammten, besaßen eine Maximalenergie von 1,6 μV (μV = Million Elektronvolt); dabei war für 80 % der Einzelpositronen die Energie kleiner als 0,8 μV. Auch die durch ungefilterte γ-Strahlen ausgelösten Positronen und Paare zeigten, obwohl ihre Zahl kleiner war als die Zahl der durch gefilterte Strahlen erzeugten, eine Maximalenergie von 1,6 μV. Auch für die aus Aluminiumplatten stammenden Positronen und Elektronenpaare betrug die Maximalenergie wieder 1,6 μV.

Die Maximalenergie der einzelnen negativen Elektronen betrug in beiden Fällen etwa 2,5 μV. Da der Fehler der Energiemessung nicht mehr als 15 % beträgt, ist dieses Ergebnis in guter Übereinstimmung mit der Maximalenergie, die man für Elektronen erwarten muß, die außerhalb des Kerns bei Compton-Stößen oder photoelektrischer Absorption der 2,65 μV-Photonen entstehen.

Die Maximalenergie von 1,6 μV der Positronen und der Paare, die wir bei Blei wie auch bei Aluminium beobachteten, steht in guter Übereinstimmung mit der nach der DIRACschen Vorstellung zu erwartenden, wenn man 1 μV als die zur Erzeugung eines Elektronenpaars notwendige Energie annimmt. In einem Fall wurde allerdings ein Paar mit der Gesamtenergie 2,9 μV beobachtet. Es ist denkbar, wenn auch nicht wahrscheinlich, daß dieses durch einen Höhenstrahl erzeugt wurde; es könnte auch durch Abprallen

eines Elektrons an der Unterseite der Bleiplatte vorgetäuscht sein.

Von gleiche Bedeutung wie die Energieverteilung ist die Verteilung der Zahl der einzelnen Positronen und Paare, verglichen mit der der einzelnen negativen Elektronen. Im ganzen wurden von den durch 2,5 cm Blei gefilterten RaTh-γ-Strahlen 1542 Elektronen aus der 0,25 mm-Bleiplatte ausgelöst. Von diesen waren 1387 einzelne negative, 96 einzelne positive Elektronen und 59 Paare. Von 943 aus einer 0,5 mm-Aluminiumplatte durch dieselbe Strahlung ausgelösten Elektronen waren 916 einzelne negative, 20 einzelne positive und 7 Paare.

Man kann annehmen, daß die negativen Elektronen im allgemeinen durch Compton-Stöße und photoelektrische Absorption von nicht den Kernen angehörigen Elektronen im Blei oder Aluminium erzeugt werden. Die einzelnen Positronen sowie die Paare müssen aber natürlich aus Zusammenstößen mit den Kernen stammen. Wenn wir annehmen, daß im Mittel die gleiche Zahl positiver und negativer Elektronen bei Kernstößen entstehen, so können wir das Verhältnis der Absorptionen in den Kernen zu denen außerhalb der Kerne berechnen. Dies führt zu Werten von 20% für Blei und 5% für Aluminium. Diese Werte sind in verhältnismäßig guter Übereinstimmung mit den von CHAO (16), MEITNER (17) sowie GRAY und TARRANT (18) mit ganz verschiedenen Methoden gewonnenen, und zwar sowohl bezüglich des Überwiegens der Bleiabsorption gegenüber der des Aluminiums wie auch bezüglich des Verhältnisses der Kernabsorption zu der außerhalb der Kerne in beiden Metallen.

Daß die Kernabsorption in Kohle für Th C''-γ-Strahlen sehr gering ist, zeigt die Tatsache, daß gegenüber 415 negativen Elektronen nur 2 Paare und 6 einzelne positive Elektronen auftraten.

Im ganzen scheinen die Energieverhältnisse der positiven Elektronen wie der Paare in Aluminium und Blei in Übereinstimmung zu stehen mit der Hypothese der Erzeugung von Elektronenpaaren, und das gleiche gilt für die unter dieser Annahme näherungsweise bestimmten Werte des Unterschieds der Absorption in Blei und Aluminium.

Das Verhältnis der beobachteten Zahl einzelner positiver Elektronen zur Zahl der Paare ist in diesem Zusammenhang auch von Bedeutung. Ob ein positives Elektron stets zusammen mit einem negativen erzeugt wird oder in einzelnen Fällen auch allein entstehen kann, ist eine Frage, die sich auf Grund der bisher vorliegenden Daten schwer entscheiden läßt. Die Wahrscheinlichkeit der Entfernung des negativen Elektrons von einem zusammen erzeugten Paar, so daß das Positron allein die Platte verläßt, ist nicht einfach zu berechnen, da sie nicht nur vom Energieverlust und der Streuung in der Platte abhängt, sondern auch von der anfänglichen räumlichen Anordnung und der Verteilung der Energie zwischen den Partnern. Aber schon eine rohe Überlegung zeigt, daß z. B. das Auftreten von 20 Positronen und nur 7 Paaren bei Aluminium schwer zu verstehen ist, wenn man annimmt, daß stets Paare gebildet werden. Wir hoffen diese Frage durch Experimente, bei denen die Teilchen in viel dünneren Platten ausgelöst werden, entscheiden zu können.

Erwähnt werden muß aber noch ein Fall, in dem zwei negative und zwei positive Elektronen, als vom gleichen Punkt der Bleiplatte stammend, beobachtet wurden. *Die Wahrscheinlichkeit, daß zwei Paare durch bloßen Zufall in dieser Weise zeitlich und örtlich zusammen auftreten, ist so verschwindend klein, daß wir die Beobachtung geradezu als Beweis dafür auffassen können, daß Photonen selbst so geringer Energie wie die Th C''-γ-Strahlen gelegentlich Elektronenschwärme erzeugen können, wie sie bei den kosmischen Strahlen ja eine häufige Erscheinung sind* (9).

Die Wirkung kosmischer Strahlen.

Unsere neuen stereoskopischen Aufnahmen in einem Magnetfeld von 17000 Gauss zeigen zahlreiche Schwärme von mehr als 30 Elektronen, teils positive und teils negative, die aus den über der Nebelkammer angebrachten Bleiplatten stammen. In allen Fällen, in denen Schwarmbildung beobachtet wurde, ergab sich einwandfrei aus den Aufnahmen, daß nichtionisierende Teilchen die Schwärme erzeugten. Auch Aufnahmen, die in einem Magnetfeld von nur 800 Gauss gewonnen wurden, zeigen viele Beispiele von einzelnen negativen und positiven Elektronen, von Paaren und Tripletts, alle mit Energien von nur 1—2 μV, ausgelöst aus Bleiplatten durch Stoß nichtionisierender Teilchen. Diese Teilchen geringer Energie sind in jeder Beziehung identisch mit den von Th C''-γ-Strahlen erzeugten und stammen zweifellos von Photonen geringer Energie. Diese Elektronenauslösung kann nicht als Wirkung gewöhnlicher Neutronen aufgefaßt werden, weil eine ausgedehnte Untersuchung mit Neutronen gerade dieser Energie gezeigt hat, daß ihre Absorption zur Emission von Kernen führt und nicht zur Auslösung von Elektronen bzw. Bildung von Elektronenschwärmen. Das Auftreten mehrerer solcher kleiner Schwärme auf einer Aufnahme, die gleichzeitig Anzeichen von Schwärmen enthält, deren Ursprung über der Nebelkammer liegt, bringt eine neue Tatsache zum Vorschein: *Bei der Absorption von kosmischen Strahlen werden außer Elektronenschwärmen in einzelnen Fällen auch Schwärme sekundärer Photonen ausgelöst.* Die experimentellen Belege für diesen Schluß wurden von MILLIKAN, NEDDERMEYER, PICKERING und dem Verf. (19) im November 1933 auf der Tagung der National Academy of Sciences mitgeteilt. Eine ausführliche Diskussion wird, zusammen mit den Aufnahmen, in Kürze im Physical Review erscheinen. In einem bestimmten Fall wurden Spuren von über 80 gleichzeitig ausgelösten Elektronen geringer Energie photographiert, und ihre Anordnung und Bewegungsrichtung in der Nebelkammer zeigt, daß sie von ungefähr ebensovielen einzelnen Zentren in dem

die Kammer umgebenden Material stammen müssen. Sie wurden deshalb der Wirkung solcher Sekundärphotonen zugeschrieben.

Daß die Erzeugung von Elektronenpaaren oder -schwärmen durch ein schnelles positives oder negatives Elektron ein ziemlich seltenes Ereignis ist, folgt aus der Beobachtung, daß von über 1000 schnellen Elektronen, die eine 1 cm dicke Bleiplatte durchdrangen, nur eins ein Elektronenpaar auslöste. Dagegen erschienen als Folge von Zusammenstößen mit nicht den Kernen angehörenden Elektronen in der Bleiplatte eine große Zahl von Spuren negativer Sekundärelektronen. Wir sehen also, daß die unmittelbaren Sekundärprodukte schneller Elektronen im wesentlichen aus negativen Elektronen und nur in seltenen Fällen aus Positronen bestehen.

Durch das sehr kräftige Magnetfeld, mit dem wir arbeiten, ist es möglich, mit nur wenigen Ausnahmen alle in den Schwärmen durch Photonenstoß ausgelösten Elektronen abzulenken. Im allgemeinen tritt dabei in einem Schwarm ein auffallender Unterschied in der Zahl der von den Bleiplatten kommenden positiven und negativen Elektronen zutage. So wurden in einem Fall 7 positive und 15 negative, in einem anderen 15 positive und 10 negative Elektronen beobachtet. Dieser Befund ist mit der DIRACschen Theorie, die stets die Erzeugung von Paaren durch einfallende Photonen verlangt, nur schwer in Übereinstimmung zu bringen. Eher scheint er die Existenz einer Art Kernreaktion anzuzeigen, an der der Kern selbst beteiligt ist und nicht nur die Rolle des Katalysators spielt. In Frage käme direkt die Emission von positiven und negativen Ladungen, die dann in den Schwärmen als freie positive und negative Elektronen erscheinen. Der wesentliche Unterschied dieser beiden Auffassungen ist aber vielleicht nur der, daß im einen Fall der Kern seine Ladung ändert, im anderen nicht.

Zum Studium der Absorption eines leichten Elements wurden über 400 Aufnahmen gemacht, bei denen die Bleiplatte durch eine Graphitplatte von 1,4 cm Dicke ersetzt war. Viele von diesen Aufnahmen zeigten Schwärme, deren Ursprung in einem über der Kammer liegenden Bleiblock lag, aber in keinem Fall wurde ein sekundärer Schwarm in der Kohleplatte beobachtet. Dieser Befund zeigt, in Übereinstimmung mit den Th C″-Ergebnissen, wie gering die Wahrscheinlichkeit der Photonenabsorption unter Schwarmerzeugung durch einen C-Kern verglichen mit der durch einen Pb-Kern ist.

Eine interessante Folgerung ergibt sich aus der Theorie der Elektronenpaare. Innerhalb der geringen Entfernung von einem negativen Elektron, die ein Positron in gewöhnlicher Materie zu erreichen vermag, ist die Wahrscheinlichkeit für die Vereinigung mit einem negativen Elektron sehr groß. Das Ergebnis dieses Prozesses wäre das Verschwinden beider Teilchen und die Verwandlung ihrer Eigenenergie wie auch ihrer kinetischen Energie in Strahlung. Da nach der bisher nicht völlig durchgearbeiteten Theorie die mittlere freie Weglänge für diesen Vernichtungsprozeß im allgemeinen größer ist als die Reichweite des Positrons, sollten als Anzeichen solcher Prozesse Quanten von etwa 0,5 μV Energie und einige wenige mit der doppelten Energie beim Durchgang von Positronen durch Materie auftreten (20). Die Untersuchungen von GRAY und TARRANT (18) über die Streuung von Th C″-γ-Strahlen sprechen tatsächlich für das Vorhandensein von Sekundärstrahlung dieser Energie, dagegen ist in einigen neueren Arbeiten vergeblich nach einer Sekundärstrahlung gesucht worden, die der Vernichtung von Positronen zugeschrieben werden könnte. Unsere Höhenstrahlaufnahmen zeigen, daß in den Schwärmen zahlreiche Sekundärphotonen vorhanden sind, von denen viele auch in den richtigen Energiebereich fallen, aber es ist noch keineswegs sicher, daß diese auch nur teilweise durch Positronenvernichtung entstanden sind. In zwei soeben erschienenen Arbeiten berichten nun JOLIOT (21) und THIBAUD (22) über Versuche mit künstlich erzeugten Positronen, bei denen sie Sekundärphotonen mit der aus dem Vernichtungsprozeß sich ergebenden Energie beobachtet haben. Durch Kontrollversuche mit negativen Elektronen konnten sie zeigen, daß ein auf Materie auftreffender Strahl von Positronen eine beträchtlich größere Zahl Photonen erzeugt, als die gleiche Anzahl negativer Elektronen.

Literatur:

1. ANDERSON, Science (N. Y.) **76**, 238 (1932). — 2. MILLIKAN u. ANDERSON, Physic. Rev. **40**, 325 (1932). S. auch ANDERSON, Physic. Rev. **41**, 405 (1932) und KUNZE, Z. Physik **80**, 559 (1933). — 3. ANDERSON, Physic. Rev. **43**, 491 (1933). — 4. MILLIKAN, Science (N. Y.) **78**, 153 (1933). — 5. BLACKETT u. OCCHIALINI, Proc. roy. Soc. Lond. A **139**, 699 (1933). — 6. CHADWICK, BLACKETT u. OCCHIALINI, Nature **131**, 473 (1933). — 7. CURIE u. JOLIOT, C. r. Acad. Sci. Paris **196**, 1105 (1933). — 8. MEITNER u. PHILIPP, Naturwiss. **21**, 286 (1933). — 9. ANDERSON, A. A. A. S. Kongreß, 28. April 1933, u. Science (N. Y.) **77**, 432 (1933). — 10. ANDERSON u. NEDDERMEYER, Physic. Rev. **43**, 1034 (1933). — 11. CURIE u. JOLIOT, C. r. Acad. Sci. Paris **196**, 1581 (1933). — 12. MEITNER u. PHILIPP, Naturwiss. **24**, 468 (1933). — 13. CURIE u. JOLIOT, C. r. Acad. Sci. Paris **197**, 237 (1933). — 14. OPPENHEIMER u. PLESSET, Physic. Rev. **44**, 53 (1933) — BECK, Z. Physik **83**, 498 (1933). — 15. ANDERSON, Physic. Rev. **44**, 406 (1933). — 16. CHAO, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. **16**, 431 (1930) — Physic. Rev. **36**, 1519 (1930). — 17. MEITNER u. HUPFELD, Naturwiss. **19**, 775 (1931). — 18. GRAY u. TARRANT, Proc. roy. Soc. Lond. A **136**, 662 (1932). — 19. ANDERSON, MILLIKAN, NEDDERMEYER u. PICKERING, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. Herbstkongreß, 20. November 1933. S. auch Sitzungsbericht, ANDERSON u. NEDDERMEYER, A. A. A. S. Kongreß 30. Dezember 1933). — 20. FERMI u. UHLENBECK, Physic. Rev. **44**, 510 (1933). — 21. JOLIOT, C. r. Acad. Sci. Paris **197**, 1623 (1934). — 22. THIBAUD, C. r. Acad. Sci. Paris **197**, 1629 (1934).

Kurze Originalmitteilungen.

Unter Mitwirkung von MAX HARTMANN, MAX v. LAUE, CARL NEUBERG, ARTHUR ROSENHEIM und MAX VOLMER. Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Die Rotationswärmen der Moleküle *HD* und D_2.

Kernspin und Statistik des Deutons.

Der Verlauf der spez. Wärme von Isotopengemischen mit verschiedenem Gehalt an schwerem Wasserstoff zwischen 35° abs. und der Temperatur der flüssigen Luft wurde gemessen. Aus den Ergebnissen konnten wir die Rotationswärmen der Moleküle *HD* und D_2 ableiten. Der Kernspin 1 und die Zuständigkeit der Bosestatistik für das Deuton sind jetzt ganz sichergestellt, da man allein auf diese Weise den experimentell gefundenen Verlauf der Rotationswärme des D_2 richtig wiedergeben kann. Wir erhielten folgende Ergebnisse:

1. Das Molekül *HD* ist ein normaler zweiatomiger Rotator; die Rotationswärme durchläuft ein flaches Maximum von 2,18 cal bei 52° abs. Molekülmodifikationen existieren nicht.

2. D_2 besteht bei Zimmertemperatur aus 2 Molekülsorten: 2 Teilen Ortho-D_2 und 1 Teil Para-D_2. Die Rotationsquanten verteilen sich bei den 3 Wasserstoffarten folgendermaßen auf die Molekülzustände:

	H_2 (Fermistatistik für die Kerne)		*HD*	D_2 (Bosestatistik für die Kerne)	
	Para	Ortho	Keine Modifikat.	Para	Ortho
Laufzahl j	0, 2, 4 ...	1, 3, 5 ...	0, 1, 2, 3, 4 ...	1, 3, 5 ...	0, 2, 4 ...
Gewichtsfaktor g	1	3	alle Zustände sind $(2j+1)$-fach entartet	3	6

Es ist zu beachten, daß im rotationslosen Elektronengrundzustand H_2 einem Para-, D_2 einem Orthozustand zugehören.

3. Das Gleichgewicht $2\,HD \rightleftarrows D_2 + H_2$ wird bei rascher Abkühlung von 1000° auf Zimmertemperatur praktisch eingefroren. Vorübergehende Verflüssigung und Verfestigung des Isotopengemisches bringen keine meßbare Gleichgewichtsverschiebung.

4. Das Gleichgewicht Ortho $D_2 \rightleftarrows$ Para D_2 sollte bei 14° abs. zu 99,7 % auf der linken Seite liegen. Bei gewöhnlichen Versuchsdauern (etwa 15 Stunden) und bei Abwesenheit von Katalysatoren ist es aber bei 12° abs. praktisch völlig eingefroren. Dieses Verhalten war wegen der Kleinheit des Kernmagnetons des Deutons zu erwarten.

Die ausführliche Mitteilung erscheint an anderer Stelle[1].

Göttingen, Physikalisch-chemisches Institut der Universität, den 6. April 1934. K. CLUSIUS und E. BARTHOLOMÉ.

Zur Empfindlichkeitssteigerung der photographischen Platte.

Für spezielle Probleme der Spektroskopie und Astronomie ist eine Steigerung der Empfindlichkeit der photographischen Platte von ausschlaggebender Bedeutung.

Eine einfache Überlegung zeigt, daß eine solche z. B. durch Kombination der Photographie mit einem lichtelektrischen Aufnahmeverfahren erreicht werden kann. Die folgende Anordnung sei diskutiert:

Die photographische Platte, deren Schichtseite durch Aufstäuben einer dünnen, durchsichtigen Silberschicht leitend gemacht ist, wird, zusammen mit einer, ihr in kleinem Abstand gegenüberstehenden, ebenfalls durchsichtigen lichtelektrischen Schicht von gleicher Größe im Vakuum untergebracht. Zwischen die Photokathode und die photographische Schicht wird eine Spannung von etwa 5000 Volt gelegt.

Entwirft man auf die lichtelektrische Schicht von hinten das zu photographierende Bild, so treten, je nach der lokalen Helligkeit, an den verschiedenen Stellen mehr oder weniger Photoelektronen in der Strahlrichtung aus, die, bevor sie die gegenüberliegende photographische Schicht erreichen, auf das angelegte Potential beschleunigt werden. Bei Aufprallen auf die photographische Platte rufen sie dann eine von ihrer Dichte und ihrer Energie abhängige Schwärzung hervor.

Versuche von G. HOLST u. a.[1] im Laboratorium der Philips-Werke in Holland mit einer ähnlichen Anordnung zur Sichtbarmachung und Photographie infraroter Bilder, bei der jedoch das durch die Elektronen erzeugte Bild an einem Fluoreszenzschirm beobachtet wurde, haben gezeigt, daß die Güte dieser einfachsten „Elektronenoptik" ausreichend ist.

Es ist bekannt, daß im Mittel etwa 100 Lichtquanten ein Photoelektron auslösen[2], und daß ferner ein 5000 e Volt-Elektron einschl. photographischer Entwicklung etwa ein Silberkorn[3] erzeugt. (Der Nutzeffekt dieses letzteren Prozesses ist gegenüber demjenigen der Lichtwirkung auf photographische Platten denkbar schlecht und läßt sich sehr wahrscheinlich durch Anwendung von speziell für Elektronenschwärzung hergestellten Platten erheblich steigern.)

Es ist ferner bekannt, daß etwa 10^6 Silberkörner/qcm eine merkliche Schwärzung ergeben[4].

Bei Benutzung dieser Werte folgt dann, daß im *ganzen* Gebiet zwischen 2500 und 8000 ÅE. (bei jeweiliger Wahl eines günstigen Kathodenmaterials) etwa 10^6 auf die Flächeneinheit der lichtelektrischen Schicht auftreffende Lichtquanten notwendig sind, um eine merkliche Schwärzung hervorzurufen.

Für die Schwärzung der photographischen Platte durch Licht braucht man jedoch im günstigsten Falle ($\sim$ 4000 ÅE.) etwa $5 \cdot 10^3$ Lichtquanten/qcm, während im Ultravioletten und besonders im Roten die photochemische Ausbeute, im Gegensatz zur lichtelektrischen Ausbeute, bedeutend heruntergeht.

Man erkennt also, daß die Kombination photographischer und lichtelektrischer Methoden nahezu im ganzen, der photographischen Platte zugänglichen Spektralbereich, besonders aber im Roten und Ultravioletten, zu einer beträchtlichen Empfindlichkeitssteigerung führt.

Verf. fühlte sich zur Mitteilung dieses Vorschlages berechtigt, da dieser wichtige Punkt bisher, auch in den einschlägigen Arbeiten, übersehen wurde.

Potsdam, Astrophysikalisches Observatorium-Institut für Sonnenphysik, den 7. April 1934. K. O. KIEPENHEUER.

Simultanmessungen des bodennahen Ozons auf Jungfraujoch und in Lauterbrunnen.

Die Messungen sind mit der spektrographischen Methode durchgeführt; mit Objektivprisma und Quarzoptik wurde das Spektrum eines Wasserstoffkontinuums aus Entfernungen von 300 bis 1800 m aufgenommen. Von zwei unabhängigen Gruppen (eine bestehend aus CHALONGE, VASSY und BARBIER, die andere aus GÖTZ und MAIER-LEIBNITZ) arbeitete die eine auf Jungfraujoch (Höhe der Forschungsstation $h = 3450$ m, Barometerstand $b = 505$ mm), die andere gleichzeitig in Lauterbrunnen ($h = 800$ m, $b = 690$ mm). Die Resultate der Tabelle geben den Ozongehalt von 1 km Luft von 760 mm Druck, wobei der Ozonbetrag x wie üblich in cm reinen Ozons unter Normalbedingungen ausgedrückt ist. Die Resultate der Beobachtungsgruppe CHALONGE sind durch ein Sternchen bezeichnet. Über die Arbeit wird ausführlicher im Journal de Physique und in Gerlands Beiträgen zur Geophysik berichtet werden.

1933 August		18.	19.	21.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
$x \cdot 10^4$	Lauterbrunnen	14*	16*	11	26	19	20			15*	14*	18*	19*
	Jungfraujoch			27*		35*	25*	33	24, 24*	35	33		

Arosa, Lichtklimatisches Observatorium, den 10. April 1934.
D. CHALONGE, F. W. P. GÖTZ, E. VASSY.

[1] S. a. Göttinger Nachrichten, Neue Folge III, 1, 1.

[1] G. HOLST, J. DE BOER, M. C. TEVES, C. F. VEENEMANN, Physica 1, 297 (1934).
[2] W. KLUGE, Physik. Z. 34, 115 (1933).
[3] A. BECKER, E. KIPPHAN, Ann. Physik 10, 15 (1931).
[4] H. AHRENS, J. EGGERT, Z. wissensch. Photogr. 28 (1930).

Besprechungen.

PIRATH, CARL, **Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft.** Berlin: Julius Springer 1934. VII, 263 S., 100 Abbild. und auf 2 Tafeln. 16 cm × 26 cm. Preis geh. RM 18.—, geb. RM 19.50.

Die Deutsche Reichsbahn hat vor kurzem mit der Inbetriebnahme der ersten eigenen Lastkraftwagen begonnen. Auch die endgültige gesetzliche Regelung des gewerblichen Güterkraftverkehrs steht unmittelbar bevor, und es ist außer Zweifel, daß durch diese Maßnahmen im Verkehrswesen eine Umstellung und Umgruppierung erfolgt, deren Auswirkungen für die gesamte Volkswirtschaft von erheblicher Tragweite sein werden. Diese Umgruppierung ist eine zwangsläufige Folge der Veränderungen, die sich im Laufe der letzten Jahrzehnte in der Verkehrswirtschaft ergeben haben. Noch vor dem Kriege zeichnete sich das Verkehrswesen fast aller Länder durch eine geradezu auffallende Einfachheit aus. Eisenbahn und Binnenwasserstraßen hatten sich in der Befriedigung der Verkehrsbedürfnisse geteilt, so daß die einzelnen Volkswirtschaften durch das aufeinander abgestimmte Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage nach Verkehrsleistungen eine sinnvolle Verkehrseinheit bildeten. Durch die Schaffung neuer künstlicher Wasserstraßen, durch den gewaltigen Siegeszug des Kraftwagens sowie durch den Bau von Leitungen für den Transport von elektrischem Strom, Gas und Öl ist im gleichen Verkehrsgebiet eine Überlagerung mehrerer Verkehrsmittel eingetreten, ohne daß dabei immer nach dem Gesichtspunkt volkswirtschaftlicher Zweckmäßigkeit verfahren worden wäre. Die Verkehrseinheit, welche die Verkehrspolitik der Vorkriegszeit mit verhältnismäßig einfachen Mitteln arbeiten ließ, ist dadurch teilweise gestört. Aufgabe der heutigen Verkehrspolitik ist es daher, die verschiedenen Verkehrsmittel zu neuer Einheit zusammenzufassen, aus dem teilweise unorganischen Nebeneinander der einzelnen Verkehrsmittel eine neue Synthese zu finden.

In dieser verkehrswirtschaftlichen Situation sind im Verlag von Julius Springer ,Berlin, „Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft" von CARL PIRATH, dem bekannten Verfasser zahlreicher verkehrswissenschaftlicher Publikationen, erschienen. PIRATH stellt sich in seinem neuen Werk die Aufgabe, „die Grundlagen klarzulegen, nach denen jedes Verkehrsmittel für sich und als Glied in der Gesamtheit der Wirtschaft eines Landes, Kontinents oder der Welt zu beurteilen" und bei der Synthese zur einheitlichen Verkehrswirtschaft zu berücksichtigen ist. Diese Zielsetzung unterscheidet das Werk von den bisherigen Veröffentlichungen über das Verkehrswesen und rechtfertigt sein Erscheinen insbesondere gegenüber der klassischen Darstellung von EMIL SAX[1]. Dessen Ausführungen sind zum Verständnis verkehrswirtschaftlicher Probleme auch heute noch unentbehrlich. Sie beschränken sich allerdings auf eine Analyse der einzelnen Verkehrsmittel und ihrer funktionellen Stellung in der Gesamtwirtschaft. Wenn sie die hier vorhandenen Probleme auch meisterhaft klären, so lassen sie doch die Frage des Zusammenspiels der verschiedenen Verkehrsmittel zu einer harmonisch abgestimmten Verkehrseinheit unberührt, und zwar deswegen unberührt, weil die oben angedeuteten Umwälzungen im Verkehrswesen vor 15 Jahren zwar schon begonnen hatten, in ihren Auswirkungen aber kaum zu übersehen waren. Nachdem die Entwicklung heute zu einem gewissen Abschluß gekommen ist, mußte aber die Frage der nationalen Verkehrseinheit neu gestellt und beantwortet werden. PIRATH kommt daher mit seinem Werk einem dringenden verkehrswissenschaftlichen und verkehrspolitischen Bedürfnis entgegen.

Im ersten Teil der Arbeit wird die allgemeine Bedeutung der Verkehrsmittel für das Wirtschafts- und Gesellschaftsleben untersucht und die Ursache der Verkehrsbedürfnisse nach der weltanschaulichen, persönlichen, kulturellen, staatspolitischen und wirtschaftlichen Seite hin dargestellt. Hieraus ergibt sich dann ohne weiteres die Größe der Nachfrage im Verkehrswesen. Die fortlaufende Befriedigung dieser Nachfrage durch die Verkehrsmittel führt zu einem bestimmten Verkehrsbild. Das Verkehrsbild spiegelt die auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogene statische Lage der Verkehrsbedürfnisse und ihrer Befriedigung durch die Verkehrsmittel wieder. Da die Kenntnis des Verkehrsbildes für alle Maßnahmen der Verkehrspolitik von größter Bedeutung ist, wird es von PIRATH nach allen Seiten durchleuchtet. Es wird in räumlicher, technischer, verkehrlicher, organisatorischer und volkswirtschaftlicher Hinsicht behandelt.

Im zweiten Teil werden die betriebs- und verkehrswirtschaftlichen Grundlagen der verschiedenen Verkehrsmittel analysiert. Die Probleme der Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit werden erschöpfend dargestellt. Sie lassen die Grundeigenschaften der einzelnen Verkehrsmittel erkennen, die dann von selbst zum Schlußabschnitt hinüberleiten, welcher der „Synthese der verschiedenen Verkehrsmittel im Dienst der Volkswirtschaft" gewidmet ist.

Das Werk, das durch 100 Abbildungen und zahlreiche statistische Übersichten besonders anschaulich geworden ist, wird sowohl dem Verkehrsfachmann als auch dem Volkswirt unentbehrliche Dienste leisten.

B. VOIGT, Berlin.

Herders Welt- und Wirtschaftsatlas. Freiburg im Breisgau 1932. 106 Hauptkarten, 65 Wirtschaftskarten, 1 Kartenweiser, viele Nebenkarten über Klima, Vegetation, Völker, Sprachen und Religionen. Mit vollständigem alphabetischem Ortsverzeichnis und auswechselbarem Statistikteil „Die Welt in Maß und Zahl". Preis RM 34.50.

Dieser Kartenband des „Großen Herder" ist in mancherlei Hinsicht der Beachtung wert. Zwar ist der Gedanke eines Atlas in Lexikonformat nicht neu, die vorliegende Gestaltung aber als besonders geglückt zu bezeichnen. Durch straffe Systematisierung tritt zu der praktischen Annehmlichkeit des Formates eine hoch gesteigerte innere Handlichkeit. Vorangestellte übersichtliche Indexkarten („Kartenweiser") von Deutschland, Europa und der Welt ermöglichen ein fast automatisches Auffinden der gesuchten Kartenblätter. Das Ortsverzeichnis bringt in erfreulicher Reichhaltigkeit, alphabetisch eingereiht, die verschiedenen Schreibungen der Namen, was besonders bei den abgetretenen Gebieten des Deutschen Reiches und den ehemals österreichischen Ländern wichtig ist; auch die uns manchmal recht wenig geläufigen postamtlichen Formen sind nicht vergessen.

Nun zu den Karten selber. Da sind zunächst die vielseitigen Weltübersichten allgemein-geographischer Dinge, in der angenehmen WINKELschen Projektion und fast verschwenderischer maßstäblicher Größe. Etwas unmodern mutet hier die Darstellung der Meeresströmungen an (Krt. 3—4); die Arbeiten z. B. der MERZschen Schule in Berlin kennen solche stromlosen Flächen innerhalb der großen Stromkreise nicht mehr. Zu begrüßen ist die Darstellung der Verkehrssprachen (auf der Karte des Weltverkehrs, Krt. 13—14), wenn auch im einzelnen manche Bedenken bestehen, die wohl aus

[1] Die Verkehrsmittel in Volks- und Staatswirtschaft. Berlin: Julius Springer 1918, 1920, 1922.

der Schwierigkeit des Begriffs, zumal in Kolonialgebieten, hervorgehen. Auffallend ist dabei die Vernachlässigung Italiens, eines Teils von Ost- und Südosteuropa, sowie der Türkei; sind nicht Italien, die aufstrebende Kolonialmacht, und die Türkei wichtiger als Persien, dem eine eigene Farbe zugebilligt ist? Das Bild des Weltverkehrs ist unvollständig durch das bedauerliche Fehlen des Luftverkehrs.

Auch die Erdteile sind allgemein-geographisch reichhaltig dargestellt, die Karten der Oberflächengestalt vielleicht etwas leer. Sie entstammen offenbar (wie manches andere auch) den ehemaligen DEBESschen Schulatlanten, und man könnte fragen, ob die für den Unterricht geforderte starke Vereinfachung in diesem Rahmen richtig ist. Dringend der Korrektur bedürftig ist die Völkerkarte von Mittel- und Osteuropa (Krt. 19 bis 20); man vergleiche nur das durchaus irreführende Bild im Raume des Polnischen Korridors mit der guten Darstellung auf Karte 35 (Deutschland, Volksstämme und Mundarten)!

Eine um so größere Freude bereitet der kartographische Hauptteil, die topographische Darstellung der einzelnen Länder in größeren Maßstäben. Diese Karten entstammen nahezu ausschließlich (wie ein sorgfältiger Vergleich lehrte) dem seit Jahrzehnten vom Markte verschwundenen „Neuen Handatlas" von E. DEBES, der damit zu neuem Leben erwacht. Freilich, auch die oben beanstandete Völkerkarte hat hier ihren Ursprung; doch muß man ihr zugute halten, daß sie vor 1900 entstanden ist, zu einer Zeit also, in der uns die Probleme des Ostens noch nicht so schmerzlich nahe geführt worden waren. Im großen ganzen aber zeichnete sich dieser Atlas durch ein klares schönes Kartenbild, sehr einheitliche und zuverlässige Bearbeitung und geschickte Wahl der Maßstäbe aus. Daß der Verlag Herder wenigstens den größten Teil dieses Werkes, natürlich berichtigt und dem anderen Format entsprechend in neuen Kartenausschnitten, der Öffentlichkeit wieder zugänglich macht, ist ein unbestreitbares Verdienst, das dankbar anerkannt werden muß. Es fällt demgegenüber nicht so sehr ins Gewicht, wenn man einige altgewohnte Kartenblätter vermißt. Immerhin seien einige Wünsche angemerkt. So ist z. B. das wichtige Kolonialgebiet des Malaiischen Archipels (Krt. 137 bis 138) in einem fast um die Hälfte kleineren Maßstab gegeben worden, der wohl doch nicht ganz ausreicht. Vor allem aber ist Australien zu kurz gekommen. Vielleicht hatte DEBES hier des Guten zuviel getan, indem er den ganzen Erdteil in 1 : 9 Mill. darstellte; aber für den östlichen Teil hätte man diesen Maßstab doch gern gesehen.

Bleibt noch die Statistik in Karten- und Tabellenform. Zu jedem wirtschaftlich bedeutsamen Länderraum bringt der Herder-Atlas farbige wirtschafts- und verkehrsstatistische Karten und Kartogramme, die immer in der Nachbarschaft der betreffenden Hauptkarten angeordnet sind — durch die Verwendung verschiedenster Methoden geradezu ein Musterbuch wirtschaftskartographischer Darstellungsweise. Und als Schlußteil endlich das statistische Nachschlagewerk „Die Welt in Maß und Zahl", ein Buch für sich von 198 Seiten, das für die vorgesehenen häufigeren Neuauflagen auswechselbar in den Atlasband eingefügt ist. Es gibt über Geographie, Wirtschaft, Staats- und Kirchenkunde aller Erdteile und Länder zahlenmäßig Auskunft; beigefügt sind zwei farbige Tafeln (Flaggen, Wappen) und viele bevölkerungsstatistische Kartogramme. Sehr zu begrüßen das Streben nach Vergleichbarkeit: alle Werte sind in Meter und Mark, die Wirtschaftszahlen — soweit das Quellenmaterial dies ermöglichte — einheitlich für das Jahr 1930 angegeben. Die Anordnung des ungeheuer reichen Stoffes ist mit dem Atlas in Übereinstimmung gebracht; sie weicht von vorhandenen ähnlichen Werken insofern ab, als diese nur nach Staaten geordnet sind, während hier eine Einteilung nach Erdteilen und erst innerhalb dieses Rahmens nach Staaten vorgenommen ist. Die Nummern der statistischen Abschnitte stimmen mit denen der Länder- und Wirtschaftskarten überein, das geographische Namenverzeichnis verweist also auf beide. So rundet sich der wundervolle systematische Aufbau und fügt diesen Band als wertvolles Glied in das Gesamtwerk des „Großen Herder" ein. KURT KAEHNE, Berlin.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Oberflächenchemie. (Nobelvortrag von Prof. Dr. IRVING LANGMUIR.) Der Nobelvortrag skizziert das Arbeitsfeld, auf dem die Leistungen des Verfassers eine so ehrende Anerkennung gefunden haben. Um aber zu ermessen, was einem schöpferischen Geiste zu verdanken ist, muß man sich sein Werk und seine Anregungen einmal gestrichen denken.

Bevor LANGMUIR das neue Arbeitsgebiet schuf, das der Titel seines Vortrages treffend kennzeichnet, schienen alle nennenswerten Wirkungen von Oberflächen an die feinste Verteilung der Materie gebunden oder wenigstens nur durch ungeheure Vergrößerung der Oberflächen von Bedeutung. Zwar gab es neben der Kolloidchemie, die sich die Erforschung der dispersen Systeme zur Aufgabe gemacht hatte, die besonders in den Niederlanden gepflegte Kapillartheorie, welche es mit der Physik der Oberflächen zu tun hat; und die 1909 in erster Auflage erschienene „Kapillarchemie" von FREUNDLICH suchte bewußt mit der Verknüpfung beider Forschungszweige Ernst zu machen.

Aber den entscheidenden Fortschritt brachte erst LANGMUIR.

Es wiederholt sich in der Geschichte der Wissenschaften, daß fruchtbare Ideen unabhängig in verschiedenen Köpfen auftauchen. Entscheidend für ihren Erfolg ist die Beharrlichkeit, mit der ihre Bewährung an der Erfahrung geprüft wird, und die dem Glauben an herrschende Autoritäten oftmals widersprechende Einschätzung ihrer Tragweite für die gesamte Naturerkenntnis.

Vor dem Eingreifen LANGMUIRS war das „Adsorptionsvolum" eine mehr oder weniger verschwommen erkennbare Übergangsschicht, durch welche die aus den Nachbarphasen eindringenden Moleküle mühselig hindurchdiffundierten. „Die Geschwindigkeit der Einwirkung in heterogenen Systemen besitzt nicht das gleiche theoretische Interesse wie die Reaktionsgeschwindigkeit homogener Systeme, weil sie in höchstem Maße von der Größe und Beschaffenheit der Trennungsfläche der reagierenden Phasen und von anderen Umständen sekundärer Natur, wie von Diffusionsfähigkeit und Rührgeschwindigkeit abhängig ist" heißt es noch 1913 in dem Lehrbuch der theoretischen Chemie eines sehr berühmten Verfassers.

LANGMUIR hat die Oberflächenvorgänge von dem Schleier der Diffusion enthüllt, indem er heterogene Gasreaktionen bei so niedrigen Drucken vor sich gehen ließ, daß die Moleküle ohne Störung zur Oberfläche gelangen können. LANGMUIR war der erste, der die Größenordnung der an einer hinreichend definierten Fläche je Quadratzentimeter tatsächlich adsorbierten Mengen erfaßte. Hierbei zeigte sich, daß sie bei niedrigen Drucken auf monoatomare bzw. monomolekulare Schichtdicken beschränkt sind.

Auf seiner anschaulichen Annahme von der Schachbrettstruktur der Oberfläche beruht die erste kinetische Ableitung einer Adsorptionsisotherme, die dem Platzbedarf der adsorbierten Teilchen Rechnung trägt. Die Verknüpfung dieser Beziehung mit der thermo-

dynamischen Adsorptionsgleichung von GIBBS führt ihn mit Folgerichtigkeit zu dem Gedanken der zweidimensionalen osmotischen Zustandsgleichung. Hieran schließt sich eine zwanglose Deutung für die seit langem bekannte Regel von TRAUBE über die Erniedrigung der Oberflächenspannung durch kapillaraktive Stoffe einer homologen Reihe; eine weitere Konsequenz ist die Orientierungstheorie der Ölfilme und kondensierten Adsorptionsschichten auf Flüssigkeiten. Durch die Erfindung eines neuartigen Meßinstrumentes, des Differentialkapillarimeters, eröffnet sich das neue Gebiet der zweidimensionalen Aggregatzustände und die Erforschung von Adsorptionsschichten wird neben der Röntgenanalyse eine der wichtigsten Methoden, auf denen unsere Kenntnis molekularer Dimensionen beruht.

Die LANGMUIRsche Adsorptionsisotherme bildet auch die Grundlage für die Berechnung der einfachsten Beispiele heterogener Reaktionsgeschwindigkeiten. Das Arbeiten bei kleinen Gasdrucken bedingt eine Steigerung der Meßgenauigkeit allein schon durch die Vergrößerung des Verhältnisses der umgesetzten Mengen zur Gesamtmenge der Reaktionsteilnehmer. So ergeben sich Einblicke in den Adsorptionszustand und die Reaktionsfähigkeit von Gasen wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenoxyd und ihrer Gemische an erhitzten Wolfram-, Kohle-, Molybdän- und Platindrähten. Einem Meister wie LANGMUIR offenbart sich die Chemie des atomaren Wasserstoffes, dessen Verhalten „in statu nascendi" bis dahin stets geheimnisvoll erschien.

Ein neues Forschungsmittel von höchster Empfindlichkeit schuf LANGMUIR durch die Messung der thermischen Elektronen- bzw. Ionenemission metallischer Adsorbentien in Abhängigkeit von Art und Menge der anhaftenden Fremdstoffe. Die so, z. B. an Cäsiumfilmen auf Wolfram, erreichbare Meßgenauigkeit erfordert Korrekturen an dem ursprünglichen Ansatz für die Adsorptionsisotherme, deren Geltungsbereich wohl manchmal überschätzt wurde. Die erste Korrektur berücksichtigt die Abstoßungskräfte zwischen den als Dipolen zu betrachtenden „Adatomen" auf der Metallfläche. Beachtung erfordert ferner die in zweiter Schicht erfolgende Adsorption. Hierbei spielt die tangentielle Beweglichkeit der lockerer gebundenen Teilchen eine wichtige Rolle. Denn bevor sie aus dem Bereich der Adsorptionskräfte verdampfen, können sie eine beträchtliche Strecke hin- und herwandern bis sie sich an einer freien Stelle der ersten Schicht festsetzen. Eine dritte Korrektur betrifft die VAN DER WAALSsche Anziehung zwischen adsorbierten Molekülen der ersten Schicht, wie es durch die Entdeckung der zweidimensionalen Kondensation nahegelegt ist.

Es wäre ein völliges Mißverständnis der LANGMUIRschen Vorstellungen, wenn man die Möglichkeit des Auftretens multimolekularer Adsorptionsschichten bestreiten wollte. Im Gegenteil hat gerade LANGMUIR die Entstehungsbedingungen von Kondensationsschichten im Zusammenhang mit der Verdampfungsgeschwindigkeit bzw. der mittleren Lebensdauer adsorbierter Atome diskutiert und an den Benetzungserscheinungen erläutert.

Wir verdanken schließlich LANGMUIR wertvolle Aufschlüsse über das Wesen der Adsorptionskräfte. Diese sind natürlich keine anderen als die im Inneren von Flüssigkeiten und Kristallen wirksamen, also entsprechend den verschiedenen Typen von Kräften, die wir hier kennen: Ionen- oder Dipolkräfte, VAN DER WAALSsche Anziehungskräfte, und abgesehen von den Abstoßungskräften, chemische Valenzkräfte, geknüpft an die Gemeinsamkeit von Elektronen zwischen den Atomen. Letztere kommen insbesondere bei der Adsorption von Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenoxyd an Platin zur Geltung, überhaupt sehr häufig bei höheren Temperaturen, bei welchen die Aktivierung der molekularen Aufspaltung erleichtert ist. Die „aktivierte" Adsorption erscheint so als eine Bedingung für katalytische Wirksamkeit von Oberflächen wie auch andererseits die chemische Bindung als Ursache der Vergiftung von Katalysatoren.

LANGMUIRS Werk ist ganz auf die klassische Physik und Chemie gegründet, in ihrer experimentellen und theoretischen Beherrschung liegt seine Stärke. Man darf daher nicht vergessen, wieviel er seinen Vorgängern zu verdanken hat. Von diesen sei hier nur KNUDSEN genannt. LANGMUIRS bisheriges Lebenswerk, von dem nur ein Teil den Oberflächen gewidmet war, erscheint uns rückschauend als ein Mosaik aus vielfacher Kleinarbeit aber unter dem Gesichtspunkt „Oberflächenchemie" als ein Ganzes, mit dem sein Name untrennbar verknüpft ist. H. CASSEL.

Untersuchungen über die Oligodynamie der sehr verdünnten Lösungen. Unter *Oligodynamie* verstehen wir *die bactericide Fähigkeit der sehr verdünnten Lösungen von Silber, Kupfer, Quecksilber, Mangan, Arsen, Jod und anderer Elemente.* Die oligodynamische Wirkung des Silbers war schon den Römern bekannt: wir wissen, daß sie in ihre Wasserkrüge Silbermünzen legten, um das Frischbleiben des Wassers zu fördern. Wissenschaftlich befaßte sich zuerst der Botaniker NÄGELI[1] mit der Oligodynamie, der feststellte, daß in Silber und Kupfer enthaltendem Wasser die Bakterien und Algen zerstört werden.

FREUNDLICH und SOLLNER[2] haben nachgewiesen, daß das Wasser vom Metallsilber pro Liter 0,00002 g Silber löst und die in dieser Lösung befindlichen Algen den größten Teil des aufgelösten Silbers in sich aufnehmen. Auch jenes Wasser wirkt oligodynamisch, welches in einem Glasgefäß gehalten wird, in dem vorher eine oligodynamische Lösung aufbewahrt wurde. Die Erklärung dieser Erscheinung ist, daß *das oligodynamisch wirksame Silber an das die Glaswand adsorbiert* war und die Autoren meinen, die Erklärung der Oligodynamie im allgemeinen in der *Adsorption* zu finden. Es scheint jedoch, daß gleichzeitig ein anderer Effekt mitwirkt. Die Algenfaden ändern nämlich, in oligodynamische Lösung gesetzt, *sofort* ihre Farbe, ein Zeichen dafür, daß ihre Zellen die Lebensvorgänge einstellen.

Eine andere Beobachtung zeigt uns, daß mit der Oligodynamie zusammenhängend eine Strahlung auftritt. BUNAU-VARILLA und TÉCHUEYRES[3] haben in einem Quarzrohr mit oligodynamischer Chlorlösung Kolibacillen vernichtet und haben festgestellt, daß inzwischen *durch die Quarzwand eine bactericid wirkende Strahlung aufgetreten ist.* Es ist von besonderem Interesse, daß *die Oligodynamie des Chlors im Dunkeln stärker ist*, wodurch bekräftigt wird, daß bei der Oligodynamie des Chlors die Ätherwellen eine Rolle spielen können. Aus Mangel an Versuchen können wir beim Silber dasselbe nicht behaupten, doch können wir aus dem Gebiete der Photographie hier eine Erfahrung erwähnen. Wenn wir eine lichtempfindliche Emulsion auf eine Platte, die schon photographischen Zwecken diente, gießen, erscheint beim Entwickeln stets auch das alte Bild. Die Ursache dieser Erscheinung ist wohl darin zu suchen, daß trotz sorgsamer Reinigung einer gebrauchten Platte, immer noch Silberspuren an der Glaswand adsorbiert sind, und diese Spuren vermögen eine photochemische Wirkung auszuüben. Dies kann eine unmittelbare Elektronübertragung, kann aber auch eine Strahlungswirkung sein. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß selbst beim Silber die Oligodynamie

[1] Denkschrift d. Schweiz. Naturforsch. Ges. **1893**, 1.
[2] Biochem. Z. **1928**, 9.
[3] C. r. Soc. Biol. Paris **1925**, 1615.

ein Strahlungseffekt, bzw. eine Fernwirkung ist, wie dies zuerst von SACHSL[1] vermutet wurde.

Beim Problem der Oligodynamie stehen also zwei Ansichten einander gegenüber: Die Annahme der unmittelbaren stofflichen Wirkung einerseits und die der Fernwirkung, der Strahlung, andererseits. Es ist aber auch möglich, daß die beiden Erscheinungen gleichzeitig sich abspielen.

Die Oligodynamie wurde nicht nur bei Lebewesen, sondern auch bei *anorganischen* Systemen beobachtet. PFEIFER und KADLETZ[2] haben in entfärbte Fuchsin-agarlösung — das Fuchsin wurde mit Natronsulfit reduziert — Kupferdraht eingestellt und sie fanden, daß nach einigen Stunden der Agar sich rot färbte. Ähnliches beobachtete auch SCHUCHMACHER[3]. Die sehr verdünnten Lösungen haben demnach eine *oxigenübertragende* Wirkung, und das kann entweder von der angenommenen ultravioletten Strahlung oder von einer unmittelbaren Elektronenübertragung herstammen. Die angeführten Versuche beweisen auch, daß die spezifische Wirkung der sehr verdünnten Lösungen nicht nur für lebende Zellen gültig ist. Es ist vielmehr anzunehmen, daß die Oligodynamie auf eine *physiko-chemische* Eigenschaft der sehr verdünnten Lösungen zurückzuführen ist. Da es jedoch sehr schwierig ist, mit sehr verdünnten Lösungen physikochemische Messungen auszuführen, ist es die Aufgabe zukünftiger Forschungen, festzusetzen, was eigentlich den Ionen der sehr verdünnten Lösungen eine größere Wirksamkeit verleiht als den Ionen, die in einer stärkeren Konzentration sich befinden. Die Verdünnung macht übrigens nicht nur die Ionen der im engeren Sinne oligodynamischen Elemente aktiver. Hierauf weisen die mit Borsäure und Aluminium ausgeführten Versuche. KISCH[4] fand, daß die Borsäure die Atmung isolierter Gewebe bis zur Konzentration 0,00001 g pro Liter hemmt und diejenige zwischen den Konzentrationen 0,000 000 1—0,000 000 001 g pro Liter beschleunigt. Von ähnlicher Wirkung sind auch die Aluminiumverbindungen[5].

Die Oligodynamie kann bei verschiedenen biologischen Vorgängen eine Rolle spielen. Nach KRAH[6] hemmen Verbindungen, welche mit *Kupfer* Komplexe bilden, die Zersetzung des Traubenzuckers zu Milchsäure. Dieser Versuch scheint den Schwermetallcharakter des Ferments anzuzeigen. Laut Beobachtungen MAC COLLUMS und HILTNERS[7] wird die Vermehrung von Mikroorganismen schon durch geringe Spuren des *Mangans* beschleunigt. SIEBRA[8] fand, daß die tuberkulotische Lunge nur $^1/_{10}$ Teil der *Kupferquantität* der normalen Lunge enthält. Dies wäre auch so zu erklären, daß das Kupfer in einer gewissen Verdünnung der Lunge Immunität verleiht. Hier erwähnen wir die Wahrnehmung HODERS, daß die Oligodynamie des im Kupferapparat destillierten Wassers durch Kochsalz gehemmt wird[9]. Die pharmazeutischen Dosierungen von *Jod, Quecksilber und Arsen* auf Körpervolumen umgerechnet, wirken in *oligodynamischen* Verdünnungen. Selbst die *Stimulation* ist nichts anderes als ein besonderer Fall der Oligodynamie. Die *katalytischen* Wirkungen der Spuren von oligodynamischen Elementen in Chemie und chemischer Technologie gehören auch diesem Gebiete an und beweisen auch gleichzeitig, daß das Wesen der Oligodynamie physiko-chemischen Grundcharakter hat. Da die sehr verdünnten Lösungen ebenso häufig vorkommen wie die Kolloiden, ist es vorauszusetzen, daß die Oligodynamie noch bei vielen anderen Erscheinungen mitspielen kann.

Es ist wünschenswert, daß das physiko-chemische Problem der Oligodynamie je eher aufgeklärt werde, da diese der Faktor von vielen anderen Vorgängen zu sein scheint. I. SZOLNOKI.

Elektrophotophorese und Magnetophotophorese. Bekanntlich geraten kleine, im Gase suspendierte Probekörper (Pk.) der Größenordnung 10^{-4} bis 10^{-5} cm bestimmten Materials, wenn sie von einem konzentrierten Lichtstrahl beleuchtet werden, in Bewegung[1]. Diese von F. EHRENHAFT entdeckte Erscheinung[2], wurde positive bzw. negative Photophorese (Ph.) genannt, je nachdem die Bewegung in der Einfallsrichtung des Lichtes oder entgegen derselben vor sich geht. Die Beobachtung geschieht am bequemsten in einem EHRENHAFTschen Kondensator, indem man den Pk. ausschwebt und abwechselnd von rechts und links mit intensiven, horizontal gerichteten Lichtstrahlen beleuchtet. Aus der Messung der Fallgeschwindigkeit des Pk. in einem schwachen Lichtstrahl und der photophoretischen (ph.) Geschwindigkeit im intensiven Strahl läßt sich das Verhältnis der ph. Kraft zum Gewicht des Pk. berechnen. Denn die Fallgeschwindigkeit ist proportional dem Gewicht des Pk., die ph. Geschwindigkeit proportional der ph. Kraft; der gemeinsame Proportionalitätsfaktor ist die sog. Beweglichkeit des Pk. In der letzten Zeit wurden von EHRENHAFT und seinen Schülern Erscheinungen gefunden, zu deren Zustandekommen außer der Bestrahlung des Pk. noch die Wirksamkeit eines elektrischen bzw. magnetischen Feldes notwendig ist[3]. Bringt man *ungeladene* Pk. bestimmter Substanzen zwischen die Platten des Kondensators und beleuchtet sie mit einem intensiven horizontalen Lichtstrahl, so werden die Pk., wenn sie nicht die vorhin beschriebene Bewegung in der Richtung des Lichtstrahles (longitudinale Ph.) zeigen, mehr oder weniger rasch fallen, manche, die sehr kleinen, werden fast schweben. Wird nun das vertikale homogene elektrische Feld eingeschaltet so ändert sich das Bild. Bei eingeschaltetem Felde fallen einige Pk. schneller als ohne Feld, einige langsamer, einige werden sogar gegen die Schwerkraft gehoben. Die restlichen Pk. bleiben unbeeinflußt. Wird bei konstanter Beleuchtung das Feld ausgeschaltet, oder bei konstantem Felde das starke Licht durch ein schwaches ersetzt, so hört die besprochene Beeinflussung momentan auf. Dieser Effekt, Elektrophotophorese (Eph.) genannt, wurde, da es sich um ungeladene Pk. handelt, der systematischen Untersuchung an solchen Pk. unterzogen, bei denen der Effekt genügend stark ist, um den Pk. gegen die Schwere in die Höhe zu ziehen, dann

[1] Wien. klin. Wschr. **1927**, 31.
[2] Wien. klin. Wschr. **1927**, 997.
[3] Biochem. Z. **1928**, 398.
[4] Biochem. Z. **1931**, 35.
[5] Biochem. Z. **1931**, 46.
[6] Biochem. Z. **1930**, 432.
[7] Prakt. Beibl. f. Pflanzenleben u. Pflanzenschutz **1931**, 101.
[8] Arch. Pharmaz. **1930**, 565.
[9] Münch. med. Wschr. **1932**, 1829.

[1] Vgl. D. KONSTANTINOWSKY, Submikroskopische Experimentalphysik. Naturwiss. **6**, Nr 29, 30, 32, 33 (1918).
[2] F. EHRENHAFT, Ann. Physik **56**, 81 (1918) — Wien. Ber. **119** IIa, 836 (1910) — Physik. Z. **15**, 608 (1914) — Wien. Akad. Anz. **11**, 7. Mai 1914; 3. Febr. 1916 — Physik. Z. **18**, 352 (1917).
[3] G. PLACZEK, Z. Physik **49**, 601 (1928) — F. EHRENHAFT, C. r. Acad. Sci. Paris **190**, 263 (1930); Physik. Z. **31**, 478 (1930); Philosophic. Mag. **11**, 140 (1931) — F. EHRENHAFT, M. REISS, E. WASSER, Z. Physik **60**, 754 (1930) — P. SELNER, Z. Physik **71**, 658 (1931) — E. REEGER, Z. Physik **71**, 646 (1931) — E. WILFLINGER, Z. Physik **71**, 666 (1931).

wieder fallen zu lassen, usf. Bei Pk., die auch longitudinale Ph. zeigen, geschieht die Beobachtung des eph. Effektes, indem man den Pk. gleichzeitig von links und rechts beleuchtet, so daß sich keine longitudinale Ph. zeigt. Die Eph. ist von der Einfallsrichtung des Lichtes scheinbar unabhängig. Die Bewegungsrichtung kehrt sich aber mit Kommutieren des Feldes meist um. Doch kommt es auch vor, daß ein Pk. trotz Kommutieren des Feldes in derselben Richtung weiterläuft. Manche Pk. kehren ihre Bewegungsrichtung auch bei eingeschaltetem Felde manchmal spontan um. Die eph. Kraft wächst zunächst fast proportional der Feldstärke, strebt aber dann einem Sättigungswert zu.

Es wurde auch die Eph. ein- und desselben Pk. bei verschiedenen Gasdrucken gemessen. Die Untersuchungen (von 1 at bis etwa 100 mm Hg) ergeben eine ähnliche Abhängigkeit der Kraft vom Druck wie die gewöhnliche Ph.: von 1 at bis etwa 500 mm Hg einen Anstieg, hier ein Maximum und dann einen ziemlich steilen Abfall. Der Druck, bei dem das Maximum auftritt, scheint von der verwendeten Feldstärke unabhängig zu sein. Das Kraft-Feldstärkediagramm, aufgenommen bei verschiedenen Drucken, zeigt, daß bei den verschiedenen Drucken der Sättigungswert der Kraft bei derselben Feldstärke erreicht wird.

Ähnliche Erscheinungen zeigen sich auch in einem homogenen Magnetfeld. Beobachtet man einen Schwarm von Eisen- oder Nickelteilchen, die sich zwischen den als Magnetpole ausgebildeten Platten des EHRENHAFTschen Kondensators befinden, indem man sie mit einem *schwachen* Lichtstrahl beleuchtet, so zeigen die Pk. die freie Fallbewegung. Dabei herrscht aber auch bei ausgeschaltetem Erregerstrom des Magneten zwischen den Platten ein remanentes, *homogenes* vertikales Magnetfeld von etwa 700 Gauss. Ersetzt man nun den schwachen Strahl durch einen intensiven horizontal gerichteten, so ist folgendes zu beobachten: Manche Pk. fallen rascher, manche langsamer, manche werden gegen die Erdschwere gehoben, andere wieder bleiben unbeeinflußt. Die Beeinflussung der Bewegung hört sofort auf, wenn der Pk. aus dem Bereiche des intensiven Strahles kommt. Beleuchtung von links oder rechts hat die gleiche Wirkung. Bei Fe und Ni kehrt sich die Bewegungsrichtung mit Kommutieren des Feldes fast immer um, während beim diamagnetischen Sb die Bewegungsrichtung bei Kommutieren des Feldes manchmal dieselbe bleibt, sich hingegen manchmal umkehrt. Spontane Umkehr der Bewegungsrichtung bei eingeschaltetem Felde kommt bei Pk. aus Fe und Ni selten, bei Pk. aus Sb sehr häufig vor. Eine diesbezügliche Statistik ergab, daß die spontanen Umkehrungen um so seltener vorkommen, je höher die Feldstärke ist. Wird die Feldstärke von der Remanenz bis auf etwa 7000 Gauss erhöht, so zeigen nur wenige Pk. aus Fe eine Verstärkung des Effektes, während bei Pk. aus Sb in den meisten Fällen die Geschwindigkeit mit Erhöhung der Feldstärke steigt. Es scheint also bei Fe und Ni der Effekt schon beim remanenten Feld in voller Stärke vorhanden zu sein.

Eine Ausdeutung der beschriebenen Phänomene ist bis nun noch nicht gelungen. Bei den Erscheinungen im magnetischen Feld könnte man an Temperaturdifferenzen, hervorgerufen durch die Magnetisierung des wärmedurchströmten Teilchens, ähnlich den bekannten thermomagnetischen Erscheinungen, denken. Diese Vorstellung ist aber noch nicht weit gediehen und das analoge Bild versagt natürlich im Falle der Effekte im elektrischen Felde.

Man hat ferner zur Ausdeutung der Effekte angenommen, daß durch Einschalten eines Feldes die Reflexionsbedingungen der Gasmoleküle an der Oberfläche des Pk. geändert werden[1]. Dem kann man Rechnung tragen, indem man z. B. eine Abhängigkeit des Akkommodationskoeffizienten vom elektrischen und magnetischen Felde annimmt.

Vor kurzem ist von SITTE[2] der Versuch gemacht worden, die Eph. und die an kleinen Pk. gemessenen Unterschreitungen des elektrischen Elementarquantums auf derselben Grundlage auszudeuten. Der Gedankengang ist, kurz skizziert, der folgende:

Als Folge der Bestrahlung des Pk. soll sich um denselben eine Ladungswolke im Sinne der Elektrolyttheorie bilden, bestehend aus Photoelektronen und Glühelektronen des Pk. und Gasionen. Diese Ladungswolke soll die Beweglichkeit des Pk. so stark verändern, daß die Größen- und Ladungsbestimmung des Pk. verfälscht wird. Im elektrischen Felde soll der äußerste Teil der Ladungswolke abgeschleppt werden und der Rest Pk.-Ladungswolke sich wie ein geladener Pk. im Felde bewegen.

Es werde hier nur kurz darauf hingewiesen[3], daß schon das Zustandekommen der Ladungswolke wegen der Absorption des allergrößten Teiles der photoelektrisch wirksamen Strahlen durch die Glaslinsen der Apparatur und aus energetischen Gründen sehr fraglich ist. Aber auch im Falle einer Ladungswolke wäre die stundenlange Stabilität der Ladung unverständlich, ferner die Tatsache, daß auch bei ganz geringen Lichtintensitäten Ladungsunterschreitungen gemessen wurden. Im Falle der Eph. dürfte, bei Annahme der SITTEschen Deutung, die eph. Geschwindigkeit bei Änderungen der Lichtstärke nur sprunghafte Änderungen aufweisen, während neueste Versuche eine stetige Abhängigkeit der eph. Geschwindigkeit von der Lichtstärke beweisen. MAX REISS.

Mit der **scheinbaren Ausbreitungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen,** wie sie aus der Beobachtung von funkentelegraphischen Zeitzeichen bestimmt werden kann, beschäftigen sich mehrere Arbeiten, die im Jahre 1933 erschienen sind. Man vergleicht die Aufnahmen von Zeitzeichen, die von zwei voneinander weit entfernten Funkstellen ausgesandt und von zwei Stationen, die diesen nahe liegen, beobachtet werden. Die Signale müssen zeitlich nahe beieinander liegen, damit nicht Unregelmäßigkeiten im Gang der Uhren der beiden Stationen die Ergebnisse verfälschen. Für die scheinbare Geschwindigkeit langer Wellen (15 bis 20 km) sind die Zeitzeichen von Bordeaux (8^h und 20^h M.G.Z.), Rugby (18^h) einerseits und andererseits erstens die von Washington-Annapolis (8^h und 17^h), zweitens die von Saigon (19^h) und die Aufnahmen dieser Signale durch die Observatorien Paris, Greenwich, Washington, Ottawa und Tokio von STOYKO untersucht worden (1929—1932)[4]. Er findet als Ausbreitungsgeschwindigkeit $v = 252523$ km/sec $+ 12071 \sin(t_m + 6^h)$, wobei t_m das Mittel der Ortszeiten der Gegenden ist, über die die Wellen laufen. Die Wellen pflanzen sich also tagsüber langsamer fort als nachts. Dies läßt sich unter gewissen Annahmen dadurch erklären, daß die in 300 km Höhe befindliche Heavisideschicht sich am Tag wie ein Leiter verhält; dadurch wird die Wellenfront geschwächt, eine spätere Ankunft der Zeitzeichen vorgetäuscht. Nachts dagegen scheint die Ausbreitung ähnlichen Gesetzen zu gehorchen wie die der kurzen Wellen (s. u.). Der Mittelwert der Geschwindigkeit der langen Wellen entspricht etwa 12 Reflexionen an der

[1] F. EHRENHAFT, M. REISS, E. WASSER, Z. Physik **67**, 519 (1931).

[2] K. SITTE, Physik. Z. **34**, 473 (1933).

[3] Vergleiche eine demnächst erscheinende Notiz von A. LUSTIG u. M. REISS.

[4] Ann. franç. Chronométrie **1933**, 191.

Heavisideschicht auf dem Weg von Europa nach Nordamerika. Neben der täglichen Schwankung der Geschwindigkeit ergibt sich auch eine jahreszeitliche Schwankung mit einem Jahres- und einem Halbjahresglied [1].

Die von STETSON und LOOMIS[2] angegebene Geschwindigkeit von 150000 km/sec scheint STOYKOS Ergebnissen zunächst zu widersprechen. Sie ist aber aus Vergleich von Aufnahmen in Greenwich und Washington gewonnen und Greenwich nimmt die amerikanischen Signale (Annapolis) mit 0^s.032 Verzögerung auf, wie aus anderen Untersuchungen[3] hervorgeht. Solche systematischen Fehler in der Aufnahme bestimmter Signale werden übrigens auch anderweitig festgestellt, ohne daß sich immer unmittelbar ein Grund dafür angeben läßt. Berücksichtigt man diese Verzögerung, so kommt man ungefähr auf den STOYKOschen Wert.

Auch für kurze Wellen haben STOYKO und JOUAUST die scheinbare Ausbreitungsgeschwindigkeit ermittelt[4], und zwar aus Beobachtungen der Zeitzeichen von Pontoise (8^h) und Monte Grande (11^h45) in Paris und Buenos Aires. Sie ergibt sich zu 269700 km/sec $\pm$ 4400. Ein ähnlicher Wert wurde bereits früher durch Vergleich mit langen Wellen indirekt bestimmt[5]. Bei einer wahren Geschwindigkeit der Kurzwellen, die der Lichtgeschwindigkeit gleich ist, würde dies 8 Reflexionen an der Heavisideschicht zwischen Paris und Buenos Aires bedeuten bei einem Winkel von 19°.8 zwischen Richtung der Wellen und Horizont. Allerdings unterliegen die Kurzwellen bei ihrer Ausbreitung weit größeren Unregelmäßigkeiten als die langen Wellen.

Z. B. konnte in Paris bei der Beobachtung des Kurzwellenzeitzeichens von Saigon bisweilen eine Verdoppelung des Signals beobachtet werden, der erste Teil entsprach der Ausbreitung auf dem kleineren Stück des Großkreises, der zweite Teil der auf dem längeren Stück. Doch kam gelegentlich von einzelnen Zeichen nur dieser zweite Teil an[6].

Eine weitere Unregelmäßigkeit in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit konnte bei den Kurzwellensignalen von Annapolis (37.4 m) festgestellt werden, die mit einer nach Westen gerichteten Richtantenne gesendet werden[7]. Diese Zeitzeichen wurden in Paris gegenüber gleichzeitigen Signalen auf anderen Wellen mit Verzögerung aufgenommen, die im wesentlichen zwei Werte bevorzugte: 0^s.0068 und 0^s.0294. Es ist nun denkbar, daß Wellen des Senders unter solchem Winkel die Heavisideschicht erreichen, daß eine starke Streuung dort einen Teil der Energie rückwärts wirft, so daß man die Station in ähnlicher Weise von rückwärts beobachten kann, wie man das Licht eines Scheinwerfers am Widerschein in den Wolken auch dann sieht, wenn man sich hinter ihm befindet. Die erste beobachtete Verzögerung würde dabei der Diffusion der Welle entsprechen, wenn sie das erstemal die Heavisideschicht erreicht, während die zweite Verzögerung einer Diffusion erst bei der zweiten Reflexion entsprechen würde. Bei einem Winkel von 19°.8 der Wellenrichtung gegen den Horizont würde aus diesen Verzögerungen im ersten Fall 400 km $\pm$ 50, im zweiten 340 km $\pm$ 15 für die Höhe der Heavisideschicht folgen, also Werte, die durchaus wahrscheinlich sind. H. C. FREIESLEBEN.

[1] Vgl. auch E. LANGE, Die Vorarbeiten zur internationalen Längenvermessung 1933. Naturwiss. **21**, 189 (1933).
[2] Nature **131**, 137 (1933).
[3] Bull. horaire **4**, 260 (1931).
[4] C. r. Acad. Sci. Paris **196**, 1291 (1933).
[5] Bull. géodésique **1930**, Nr 27, 45.
[6] Bull. horaire **4**, 209 (1931).
[7] C. r. Acad. Sci. Paris **196**, 1583 (1933).

Was lehren uns schnellschwimmende Hochseetiere für die Fortbewegung von Booten und Schiffen? Flossenboot oder Paddelboot? Beobachtungen von Hochseetieren, welche an der Grenze von Luft und Wasser leben, wie Pinguinen, Walen, Delphinen, Robben, Seeschildkröten, Haien (die Rückenflosse der Haie ragt gewöhnlich aus dem Wasser hervor!) ergaben immer von neuem, daß alle diese Tiere Geschwindigkeiten erzielen können, welche sie gemäß ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit niemals erzielen würden, wenn sie sich nach Art eines Schiffes fortbewegten. Bei gründlichem Studium der Ausbildung ihres Körpers und ihrer Schwimmbewegungen erhält man eine recht einfache Lösung dieses scheinbaren wissenschaftlichen Rätsels. Bekanntlich sind die Antriebsvorrichtungen (Propeller) eines durch Maschinenkraft fortbewegten Schiffes in der Regel *hinten* angeordnet. Dagegen sind die Flossen der oben erwähnten Tiere *vorn und hinten* angeordnet. Beobachtet man diese Tiere beim Schwimmen, so erkennt man, daß die im Verhältnis zu ihrer Größe schnellsten bei *schnellem* Schwimmen *nur*, die anderen fast nur mit den Vorderflossen schwimmen, während die Hinterflossen hauptsächlich zum Steuern dienen. Was bezwecken die Tiere mit dieser Art der Fortbewegung? Ein fahrendes Schiff erzeugt bekanntlich eine Bugwelle nebst Resonanzwellen, meist auch ein Heckwellensystem. Die Bildung dieser Wellensysteme ruft den sog. Wellenwiderstand (praktisch gleich Formwiderstand) hervor, welcher bei schnellen Schiffen den größten Teil des Gesamtwiderstandes ausmacht. Jeder arbeitende Propeller, also auch z. B. die Flügel eines Pinguins, erzeugt vor sich einen Unterdruck und hinter sich einen Überdruck. Betrachtet man die Anordnung der Flügel eines Pinguins, so erkennt man, daß sich bei schnellem Schwimmen die Druckunterschiede des Bugwellensystems und die von den arbeitenden Flügeln hervorgerufenen Druckunterschiede praktisch zum Gesamtdruck Null ergänzen. Infolgedessen spart der schwimmende Pinguin praktisch den *ganzen Wellenwiderstand* und somit die zu seiner Überwindung erforderliche Leistung. Entsprechendes gilt von den anderen oben erwähnten Hochseetieren. Schleppversuche der Berliner Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau mit dem Abguß eines von HAGENBECK, Stellingen, freundlicherweise zur Verfügung gestellten verstorbenen Königspinguins ergaben, daß der Widerstand stark abnimmt, sobald der Bugstau über den Rücken des Modells hinweg abfließt und infolgedessen die Bildung eines Bugwellensystems unterbleibt (Fig. 1).

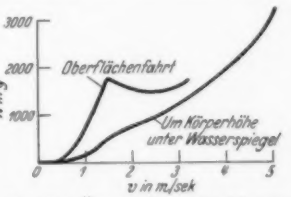

Fig. 1. Ergebnisse der Schleppversuche der Berliner Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau mit dem flügellosen Abguß eines Königspinguins am 11. Februar 1933. Bei Beginn der Überspülung des Modells bei Oberflächenfahrt sinkt der Widerstand plötzlich infolge Druckausgleichs der umgebenden Strömung. Zunehmende Stärke der überspülenden Schicht bewirkt Annäherung des Widerstandes an den Widerstand bei Unterwasserfahrt. Mit Genehmigung d. Berl. V.-A. f. Wb. u. Schiffb.

Auch die Ausbildung und Bewegung der Flügel bzw. Flossen der erwähnten Hochseetiere ist nicht von ungefähr, sondern paßt sich der Strömung um den Körper herum viel besser an als die Tätigkeit eines Schrauben- oder

anderen Propellers (Fig. 2). Die Bewegung der Flossen setzt sich zusammen aus einer Pendelschwingung quer zur Fortschrittsrichtung und einer Drehpendelschwingung um die Flossenachse. Erstere folgt, wenn t die Zeit ist, dem Gesetz: $s = \sin t$, letztere dem Gesetz $s = f\left(\frac{d(\sin t)}{dt}\right) = f(\cos t)$. Um einen guten Propellerwirkungsgrad zu erzielen, hat die Natur die Flossen der erwähnten Hochseetiere elastisch verwindbar ausgebildet und hat, um die Verwindung automatisch mittels der Pendelschwingung hervorzurufen, den Flossen eine sichelförmig nach hinten gekrümmte Gestalt gegeben (Fig. 3).

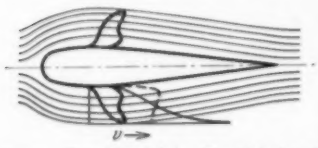

Fig. 2. Stromlinienbild und Geschwindigkeitskurve der von den Brustflossen eines Riesenhaies erzeugten Strömung. Zum Vergleich: Gestrichelte Geschwindigkeitskurve der um den Körper eines *geschleppten* Riesenhaies sich ausbildenden Strömung. Ergebnis: Flossentätigkeit verbreitert Grenzschicht um das Mehrfache und verringert dadurch Reibungswiderstand auf einen Bruchteil. Aus einer Abhandlung des Kand. d. Schiffbaues Heinz Judis über Photographieren von Riesenhaien in der Zeitschrift The Scientific Monthly.

Fig. 3. Schwimmender Königspinguin. Photo Zoo, Berlin. Man beachte die Anordnung und Ausbildung der Schwimmflügel.

Verfasser erfand einen Mechanismus (D. R. P. ang.), der auf höchst einfache Weise diese Bewegungsgesetze verwirklicht. Dieser Mechanismus wird mittels einer rotierenden Bewegung betätigt, kann also von einer beliebigen rotierenden Maschine angetrieben werden. Um nachzuprüfen, ob die obigen Bewegungsgesetze richtig seien, ließ Verfasser einen einfachen, von Hand zu treibenden Flossenapparat bauen und probierte ihn mit Hilfe seines Paddelbootes aus. Auf elastische Flossen, somit auf einen guten Propellerwirkungsgrad, wurde aus Gründen der Einfachheit bewußt verzichtet. Die Montage und Konstruktion des Apparates sei im folgenden erläutert:

1. Der quer über den Süll des Bootes gelegte Rahmen ist mit vier Schrauben am vorderen Ende der Sitzluke am Süll befestigt.

2. An den seitlichen Enden des Rahmens sind mittels kräftiger Scharniere zwei kurze Bretter angelenkt, welche die Pendelschwingung der Flossen ermöglichen.

3. Diese Bretter tragen je zwei Lager, in welchen die Stiele der Flossen gelagert sind. Hierdurch wird die Drehpendelschwingung der Flossen ermöglicht.

4. Die Mechanismen zur Betätigung der Flossen greifen am oberen Teil der Flossenstiele an und sind im oberen Teil des Rahmens gelagert. Sie tragen auf der Oberseite des Rahmens je eine Handkurbel.

5. Die Betätigung der Handkurbeln erfolgt durch Stangen. Diese sind hinten durch eine Querstange miteinander gelenkig verbunden. Die Querstange ruht mittels Rollen auf dem Süll des Bootes. Die Längsstangen tragen Handgriffe für den Vordermann. Der Vordermann führt die Kurbelbewegungen zur Betätigung der Flossen aus, der Hintermann unterstützt ihn durch abwechselndes Ziehen und Schieben an der Querstange.

Der Erfolg übertraf die Erwartungen. Trotz des schlechten Propellerwirkungsgrades wurden bei der Probefahrt über eine 3,5 km lange Strecke auf der unteren Havel folgende Geschwindigkeiten erreicht:

	Länge km	Zeit Min.	Geschwindigkeit km/Std.	Wind
1. Schildhorn-Breitehorn	3,5	48	4,48	ruhig
2. Breitehorn-Schildhorn	3,5	43	4,88	ruhig
3. Wilhelmturm-Lindwerder	1,0	12	5,0	ruhig
4. Lindwerder-Wilhelmturm	1,0	10	6,0	ruhig

Fahrt 1. und 3. wurden ohne, 2. und 4. gegen Konkurrenz von Paddelbooten zurückgelegt. Fahrt 3. und 4. sind Sondermessungen im Rahmen der Fahrten 1. und 2. Mit einem verbesserten Apparat dürften erheblich höhere Geschwindigkeiten zu erzielen sein. Fahrt 1. und 2. wurde mit 2 Pausen, 3. und 4. ohne Pause gefahren.

Um den Einfluß der Flossen auf die Wellenbildung zu zeigen, wurde das Boot ferner sowohl mit Paddeln als auch mit Flossen mit etwa 10 km/Std.-Geschwindigkeit gefahren. Wie Fahrtphotos deutlich zeigen, erzeugte das Boot bei Paddelbetrieb eine starke Bugwelle und hob sich auf diese herauf, während bei Flossenbetrieb die Wellenbildung fast gleich Null war. Der Unterschied zwischen Marschfahrt und höchster Fahrt des Flossenbootes ist fast nur an der Gischtbildung um die Flossenstiele zu erkennen.

Um den Einfluß der Lage des Propellers längs des Schiffes auf die Wellenbildung und die Geschwindigkeit des Bootes festzustellen, unternahm der Verfasser im Auftrage von Herrn Prof. Dr.-Ing. Horn, Lehrstuhl für Dynamik des Schiffes, T. H. Berlin, eine Versuchsreihe mittels Paddelboot und längs verschiebbarem Seitenbordmotor. Das Boot wurde von einem Freunde des Verfassers, der 1,6 PS Delphin-Seitenbordmotor von der Maschinenfabrik Prometheus, Berlin-Reinickendorf-Ost, für diese Versuchsreihe dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Der Motor ruht in Anordnung eins auf zwei kräftigen Leisten vor dem Vorsteven, der Propeller 0,8 m hinter dem Vorsteven der Bootes. Der Vergaser des Motors wurde mittels einer 2,5 m langen Leiste bedient, der Motor von Land aus angeworfen. Berücksichtigt man den Einfluß der verschiedenen Schräglagen der Propellerwelle, so ergibt sich, daß ein Absaugen der Bugwelle sich bei gleichbleibender Motorleistung in einer Steigerung der Geschwindigkeit auswirkt. Heinz Judis.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. Dr. Arnold Berliner, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.